

3G

Network Interface Selection Algorithm on Vertical Handoff between 3G Networks and WLANs

: (石鎔豪, Yongho Seok), (崔洛中, Nakjung Choi), (崔陽熙,
Yanghee Choi)

: (Multimedia and
Mobile Communications Laboratory, School of Computer Science and Engineering,
Seoul National University)

:
: 56-1 138 317

: 151-742

: 02-876-7170

FAX : 02-876-7170

E - Mail : fomula@mmlab.snu.ac.kr

Network Interface Selection Algorithm on Vertical Handoff between 3G Networks and WLANs

3G 네트워크와 무선랜의 통합은 서로 간의 보완적 특성으로 인하여 학계나 산업계에서 큰 관심사가 되고 있다. 이 주제는 최근 떠오르는 이슈로서 끊임 없는 계층적 핸드오프 지원은 네트워크 통합에 따른 중요한 관심사 중 하나로 인식되고 있다. 본 논문에서는 강결합 시스템에서의 계층적 핸드오프에서 단말의 에너지 소모를 고려하는 네트워크 인터페이스 선택 알고리즘을 제안한다. 본 저자들이 제안하는 Wise Interface SElection (WISE) 알고리즘은 네트워크와 이동 단말의 협력 하에 네트워크 인터페이스 카드의 에너지 특성과 현재 서비스 받고 있는 네트워크 상태, 그리고 송수신하는 데이터 양을 종합적으로 고려하여 이동 단말이 효율적으로 에너지를 소비할 수 있는 적절한 네트워크로 서비스 받을 수 있도록 유도한다. 제안된 계층적 핸드오프 알고리즘은 에너지 소비 패턴을 고려하여 다운링크와 업링크에 대하여 독립적으로 동작한다. 3G 네트워크 인터페이스 만을 사용하는 경우와 무선랜 인터페이스 만을 사용하는 경우에 비해 제안된 WISE 알고리즘이 확연히 더 적은 에너지를 소비하여 이동 단말의 동작 시간을 연장시킬 수 있다는 것을 모의 실험을 통해 증명한다. 또한 TCP 트래픽의 경우 WISE 알고리즘의 비대칭적인 링크의 사용으로 부가적인 처리율 향상을 얻을 수 있다.

Abstract

The integration of 3G networks and WLANs as complementary has been begun to attract much attention in industry as well as academia. This topic is becoming a burning issue, and one of the key questions which it raises is how to support a seamless vertical handoff. This paper introduces a new network interface selection algorithm for energy-efficient vertical handoff in tightly coupled systems capable of supporting seamless handoff. Our proposed scheme, Wise Interface Selection (WISE) switches the active network interface, after taking into consideration

the characteristics of the network interface cards and the current level of data traffic, with the cooperation of the mobile terminals and network. Network interface switching operates independently on both the downlink and the uplink for the purpose of energy conservation. We show through simulation that less energy is consumed with WISE than when only a 3G network or WLAN interface is used, resulting in a longer lifetime for the mobile terminals. In the case of TCP connections, additional throughput gain can also be obtained.

Keyword – Interface Selection, Vertical Handoff, Energy Efficiency, One-way Operation.

1.

최신 네트워킹 경향은 유비쿼터스 컴퓨팅 환경으로, 이는 사용자가 언제 어디서나 어떠한 장치를 통해서든 항상 인터넷에 연결될 수 있다는 것을 의미한다. 이런 네트워크 패러다임의 변화에 따라 유비쿼터스 컴퓨팅 환경을 지원하기 위해 다양한 액세스 네트워크 기술이 등장하였다. 대표적인 한국 인터넷 서비스 공급자인 KT는 호텔, 카페, 지하철 역 등의 공공 장소에서 “NESPOT” [1]이라는 고속의 무선 인터넷 서비스를 시작하였고, 곧 삼성 전자와 한국 전자 통신 연구원에서는 HPi (High-Speed Portable Internet) 기술이 구현된 이동 단말을 선보일 예정이다. 현재 이런 서비스는 CDMA2000 망이나 WiFi (802.11b) 네트워크에서 독립적으로 제공되고 있으며, HPi 기술 역시 독자적으로 서비스를 제공할 것으로 예상된다. 또한 이동 단말 역시 이런 다양한 기술을 지원하는 기능과 함께 GPS (Global Positioning System) 기능을 장착하는 등 점차 지능형으로 발전하고 있다.

진정한 의미의 유비쿼터스 컴퓨팅 환경을 구축하기 위해서 이러한 다양한 액세스 네트워크 간의 통합 기술이 논의되고 있다. 여러 기술 중에서도 3G 네트워크와 무선랜 간의 통합은 학계 뿐만 아니라 산업계에서도 큰 관심을 끌고 있다. 3G 네트워크는 높은 이동성을 지원하면서 넓은 범위의 지역을 포함하는 서비스가 가능하다. 그러나 3G 네트워크의 대역폭은 CDMA2000 1X EV-DO의 경우 대략 2(Mbps) 정도로 여러 사용자가 큰 용량의 파일을 다운받는 등의 멀티미디어 서비스를 받기에는 충분한 대역폭을 제공하지 못한다. 또한 3G 네트워크를 사용하는 통신은 아직까지는 매우 고가이다. 반면, 무선랜은 높은 대역폭을 지원한다. 무선랜의 가장 주요한 두 가지 표준에 따르면 IEEE 802.11과 HiperLAN은 채널 상태에 따라 최고 54(Mbps) 데이터 전송 속도를 지원하며, 현재 표준화 작업에 있는 802.11n의 경우 최고 100(Mbps) 이상의 데이터 전송 속도를 지원하기 위해 논의 중에 있다. 그러나 무선랜은 이동성이 작은 지역에서 서비스하기 위하여 설계되었기 때문에 서비스 지원 가능 지역의 범위가 30(m)에서 300(m)로 유비쿼터스 컴퓨팅 환경을 지원하기에는 부족하다는 단점이 있다.

무선랜과 3G 네트워크는 기존의 이동 통신 네트워크에 비해서 높은 데이터 전송 속도를 지원한다. 그러나 3G 네트워크는 음성 트래픽에 적합한 무선 환경을 제공하며 높은 이동성 지원과 서비스 지역이 넓고, 반면 무선랜의 경우 데이터 트래픽에 적합하도록 최적화되어 있

으며 상대적으로 낮은 이동성을 지원하며 서비스 지역도 좁은 특성을 지닌다. 따라서 이 두 네트워크의 서로 상반되는 특성으로 인하여 3G 네트워크와 무선랜은 경쟁 관계보다는 서로 보완하는 관계로 발전하게 될 것이다.

3G Partnership Project (3GPP)와 3GPP2에서 많은 프로젝트가 진행 중이며 학계에서도 3G 네트워크와 무선랜 통합에 관한 많은 연구들이 수행 중이다. 과거의 연구에서는 양 네트워크의 통합 구조를 (i) 약결합 시스템 또는 (ii) 강결합 시스템으로 분류하였다. 두 가지 경우에서 공통되는 가장 중요한 문제는 3G 네트워크와 무선랜 사이의 계층적 핸드오프의 해결 방법이다. 약결합 접근 방식은 핸드오프 지연이 크지만 아직까지는 기존 망과의 연동을 위하여 약결합 방식에 초점이 맞추어져 연구가 진행되고 있다. 그러나 궁극적으로는 끊임 없는 계층적 핸드오프 지원을 위하여 강결합 방식으로 나아가게 될 것이고, 따라서 본 연구에서는 강결합 시스템에서 네트워크 인터페이스 선택에 대한 새로운 알고리즘을 제안한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서는 3G 네트워크와 무선랜의 통합에 관한 전반적인 이슈와 기존 연구를 소개하고, 3장에서는 본 연구에서 지적하는 문제점을 정의한다. 4장에서는 본 저자들이 제안하는 에너지 효율적인 계층적 핸드오프를 위한 WISE 알고리즘에 대하여 기술하고, 5장에서 모의 실험을 통하여 WISE 알고리즘의 성능 평가를 수행한다. 마지막으로 6장에서 결론을 맺는다.

2.

최근 3G 네트워크와 무선랜 통합에 관한 많은 연구가 있었다 [2,3,6,8,9,10,11,15]. 기존의 연구들은 *프로토콜 기반 접근 방식*, *게이트웨이 기반 접근 방식*, *에플레이터 기반 접근 방식*의 세 가지 접근 방식으로 분류할 수 있다. *프로토콜 기반 접근 방식*은 기존에 제안되어 사용중인 프로토콜에 기반하여 인터넷워킹을 지원하는 방법이다. Mobile IP의 이동성 지원을 이용한 방법이 3GPP2에서 연구 중이며 SIP (Session Initiation Protocol)의 확장 버전을 활용하여 이동성을 지원하는 연구도 있었다 [3]. 그 외에도 최근 TCP/UDP를 대체할 차세대 전송 계층 프로토콜로서 주목 받고 있는 SCTP (Stream Control Transmission Protocol) 표준화가 진행 중이다 [4-5]. SCTP의 멀티홈잉 특성은 SCTP 세션이 여러 IP 주소를 동시에 사용할 수 있도록 하여 세션 도중 네트워크 장애가 발생하였을 경우 대체 경로 (혹은 대체 IP 주소)를 통해 세션을 유지할 수 있게 한다. 이런 특성을 이동성 지원을 위해 적용한 mSCTP (mobile SCTP)와 실제 핸드오프 전략에 관한 연구도 제안되었다 [6-7].

*게이트웨이 기반 접근 방식*은 3G 네트워크와 무선랜이 서로 통신이 가능하도록 인터페이스 역할을 할 수 있는 새로운 객체를 도입하는 접근 방식이다. 참고 논문 [8,9]에서는 게이트웨이 IOTA (Integration Of Two Access Technologies)라는 새로운 객체를 도입하여 3G 네트워크와 무선랜을 연결할 때 필요한 모든 기능을 모듈로 나누어 지원한다. *프로토콜 기반 접근 방식*과 *게이트웨이 기반 접근 방식*을 합쳐서 *약결합 접근 방식*이라고도 한다. *약결합 방식*에서 3G 네트워크와 무선랜은 독립적으로 확장이 가능한, 대등한 관계를 가진다.

에플레이터 기반 접근 방식은 무선랜이 3G 액세스 망의 하나로 3G 코어 망에 연결되는 구조를 가진다. 이 구조에서는 무선랜이 3G 네트워크의 GGSN (Gateway GPRS Support Node)이나 SGSN (Serving GPRS Support Node)을 에플레이션 할 수 있는 객체가 필요하다. 에플레이터 기반 접근 방식은 강결합 접근 방식이라고도 하며, 시그널과 데이터가 모두 3G 코어 네트워크를 통과하여 전달된다.

[8,9]에서는 3G 무선 데이터 네트워크와 802.11 무선랜을 결합할 때 발생하는 네트워크 간의 AAA (Authentication, Authorization and Accounting) 문제, 끊김 없는 연결성 유지, QoS 보장 등 여러 가지 이슈들을 지적하고 있다. 그 중에서도 가장 중요한 이슈로 계층적 핸드오프에서의 네트워크 인터페이스 선택 문제를 언급하고 신호의 세기에 기반한 단순한 스위칭 알고리즘을 제안하고 있다.

[10]에서는 이동 단말의 계층적 핸드오프를 효율적으로 관리하기 위해서 Connection Manager (CM)과 Virtual Connectivity (VC)라는 두 가지 새로운 개념을 도입한다. CM은 3G 네트워크에서 무선랜으로 이동할 때 주변 노드들의 NAV (Network Allocation Vector) 설정 값을 통하여 네트워크 상태를 알아내어 적절한 동작을 취한다. 또한 신호의 세기를 민감하게 측정할 수 있는 FFT (Fast Fourier Transform) 개념을 도입하여 무선랜 링크가 끊어지기 전에 적절하고 정확한 시점에 스위치 한다. VC는 서로 다른 네트워크 간의 이동이 어플리케이션에 영향을 주지 않도록 하는 역할을 담당한다.

[11]에 논의된 방법은 음성 서비스와 데이터 서비스를 따로 분리해서 서비스 하는 방식이다. 만약 이동 단말에 2 종류의 네트워크 인터페이스 카드가 있다면 음성 전송은 3G 네트워크 서비스를 사용하고, 병렬적으로 데이터 전송은 큰 대역폭을 제공하는 무선랜 서비스를 통하여 가능한 오랫동안 받는다. [11]에서는 이러한 방법으로 높은 대역폭의 데이터 서비스를 제공할 수 있다고 주장하고 있다.

3.

일반적으로 무선랜은 3G 네트워크에 비해 값싼 비용으로 높은 대역폭을 제공한다. 따라서 과거 대부분의 연구들은 이동 단말이 가능한 오랫동안 무선랜을 사용한다고 가정한다. 즉, 이동 단말이 3G 네트워크와 무선랜이 모두 사용 가능한 경우, 단말의 네트워크 인터페이스나 트래픽 특성의 고려 없이 항상 무선랜을 사용하여 서비스 받는다. 그러나 동시 사용 가능 지역에서 무선랜을 사용하는 것이 항상 성능의 향상을 보장하는 것은 아니다. 3G 네트워크에서 무선랜으로의 스위칭이 더 많은 에너지 소비를 유발하거나 오히려 처리율을 감소시킬 수도 있다.

표 1과 표 2에서는 일반적으로 사용되고 있는 모뎀 카드와 무선랜 카드로 CDMA2000 1x EV-DO 무선 모뎀 네트워크 카드와 Orinoco IEEE 802.11b 네트워크 카드의 에너지 소비율을 보여준다.

표 1. Orinoco IEEE 802.11b 네트워크 카드의 에너지 소모 [10]

동작 모드	송신 모드	수신 모드	휴지 모드
소모 전력	1.3 (W)	900 (mW)	740 (mW)

표 2. CDMA2000 1x EV-DO 무선 모뎀 네트워크 카드의 에너지 소모 [11]

동작 모드	송신 모드	수신 모드	휴지 모드
소모 전력	2.8 (W)	495 (mW)	82 (mW)

데이터를 전송할 경우에는 3G 네트워크 카드가 무선랜 카드에 비해 대략 2배 정도 많은 에너지를 소모한다. 그러나 데이터를 수신할 경우에는 무선랜 카드가 3G 네트워크 카드에 비해 2배 가량의 에너지를 소모하며, 휴지 상태일 경우에는 대략 9배의 에너지를 소모한다. 만약 대부분의 이동 단말이 멀티미디어 서비스를 이용한다면, 멀티미디어의 다운로드 특성으로 인해 상당 시간을 데이터를 수신하는데 사용하는 패턴을 보인다. 따라서 비록 전송 모드에서의 파워 소비가 절대 수치에서는 훨씬 많은 에너지를 차지하지만, 트래픽 패턴에 따라 수신 모드에서의 에너지 소모도 상당 비율을 차지하게 된다. 또한 이동 단말이 송수신할 데이터가 없다면 대부분의 시간을 휴지 상태로 머무르게 될 것이다. 이 경우 무선랜 카드가 3G 네트워크 카드에 비해 많은 양의 에너지를 사용하기 때문에 무선랜 카드의 전원을 끄고, 대신 3G 네트워크 카드를 사용하는 것이 에너지 측면과 이동성 관리 측면에서 유리하다. 또한 무선랜의 경우, 다른 이동 단말로 향하는 데이터 전송도 PLCP 헤더 부분을 오버헤어링하기 때문에 추가적인 에너지 소모가 유발된다. 즉, 에너지 소비 측면에서 보면, 3G 네트워크 카드가 무선랜 카드에 비해 네트워크 부하가 크지 않은 상황에서는 특정한 트래픽에 대하여 더 좋은 성능을 보인다.

802.11 기반 무선랜에서 공통 무선 채널(shared wireless channel)에 대한 접근 제어 프로토콜로 널리 사용되고 있는 DCF (Distributed Coordination Function)는 경쟁 기반 프로토콜이다. 단일 무선랜 망에서 이동 단말 수의 증가는 경쟁으로 인한 오버헤드를 증가시키게 되고 결과적으로 네트워크 전체의 처리율을 감소시킨다. 처리율의 관점에서 보면, 네트워크 부하에 따른 경쟁으로 인한 오버헤드를 감소시킬 수 있는 방법이 고려되어야 한다.

최근 국내외에서 3G 네트워크와 무선랜 카드가 모두 내장된 형태의 듀얼 모드 이동 단말이 출시되고 있다. 일본의 NTT DoCoMo [14]는 WCDMA와 무선랜을 통하여 음성 서비스를 제공하는 프로토타입의 테스트를 성공적으로 마치고 현재 제품을 개발하고 있으며, 한국의 KT에서는 CDMA2000 1x EV-DO와 무선랜을 동시에 지원하는 스윙 폰을 판매하고 있다. 아직까지는 이기종의 네트워크 액세스 기술 사이의 핸드오프가 지원되고 있지 않지만, 가까운 미래에 3G 네트워크 및 무선랜에 대한 접속 및 관리를 위하여 접속 망을 선택할 수 있는 하드웨어나 소프트웨어가 요구될 것이고, ABC (Always Best Connected) 개념 [15]의 유비쿼터스 네트워크에서는 단말의 에너지 소모가 더욱 중요한 문제로 부각될 것이다.

4.

4.1.

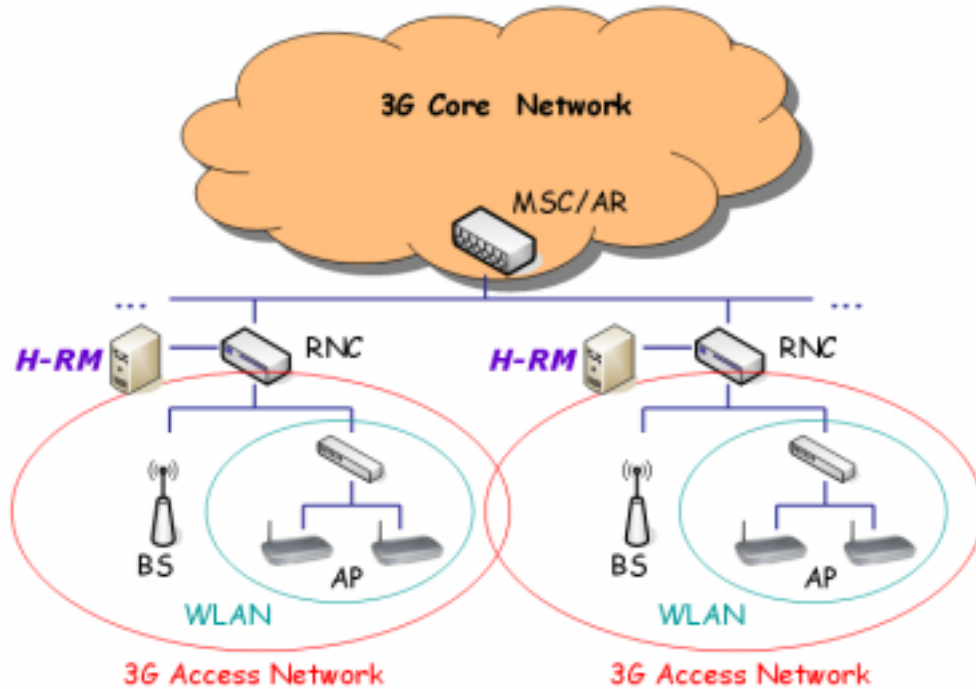


그림 1. 3G 네트워크와 무선랜 통합 구조

그림 1은 3G 네트워크와 무선랜 결합 시 전체 네트워크 구조를 보여준다. 하나의 BS (Base Station)와 다수의 AP (Access Point)들이 하나의 도메인을 형성하고 있으며, 각각의 도메인은 RNC (Radio Network Controller)에 의해서 관리되며 여러 RNC들이 다시 MSC (Mobile Switching Center)에서 관리되는 계층적 구조를 이루고 있다. RNC에는 H-RM (Handoff-Resource Manager)라는 객체가 새롭게 도입되어 핸드오프와 관련한 자원을 관리한다. 강결합 시스템의 경우, 동일한 인터넷 서비스 제공자가 3G 네트워크와 무선랜 서비스를 제공하거나 적어도 두 인터넷 서비스 제공자 사이에 사용자 프로파일에 대한 계약이 존재한다.

따라서 H-RM은 그림 1과 같은 네트워크 구조에서 도메인 내 3G 네트워크와 무선랜 사이의 부하를 균형적으로 분배하거나 이동 단말을 제어할 수 있는 새로운 객체로써 수평적, 계층적 핸드오프 시에 이동성 관리를 담당한다. 도메인 내 여러 무선랜 AP들은 계층적 구조를 형성하고 있으며 이동 단말은 한 도메인 내에서 3G 네트워크와 무선랜 사이나 무선랜 AP들 사이를 이동할 수 있다. 무선랜 AP들 사이의 수평적 핸드오프 시에는 끊임 없는 수평적 핸드오프 지원을 위하여 HMIP (Hierarchical Mobile IP) [16]를 사용하고, 이 때 H-RM은 지역 FA (Local FA), MSC/AR은 게이트웨이 FA의 역할을 수행한다. 즉, 한 도메인 내에서 맨 처음 3G 네트워크를 통하여 할당 받은 CoA (Care-of-Address)를 유지하면서 무선랜 AP들 사이에

서 이동이 가능하다. H-RM은 BS나 AP들과 정보 교환을 통하여 3G 네트워크와 무선랜에 대한 정보를 수집하고, 현재 도메인 내에 존재하는 이동 단말로 송수신되는 데이터를 모니터링하여 네트워크 과부하 시엔 적절한 이동 단말을 핸드오프 시킨다. 이런 방법을 통하여 두 네트워크 사이의 부하를 효과적으로 분배할 수 있다.

이런 통합 네트워크 구조에서 GPS 장착 이동 단말의 경우, 현재 위치 정보를 바탕으로 무선랜 가능 지역에 근접했을 경우에만 무선랜 인터페이스를 활성화시키고 핸드오프 시에 필요한 사용자 프로파일 정보를 해당 무선랜에 미리 제공하여 끊김 없는 핸드오프 지원이 가능하다. GPS 기능이 없는 이동 단말의 경우에는 주기적으로 무선랜 서비스가 가능한지 검사를 하게 된다.

4.2. WISE

4.2.1.

본 논문에서 제안하는 Wise Interface SElection (WISE)은 처리율을 저하시키지 않는 범위 내에서 이동 단말의 에너지를 효율적으로 사용하는 알고리즘이다. 표 1과 표 2에서 보는 바와 같이 이기종의 네트워크 인터페이스는 각 전송 상태에 따라 에너지 소비량이 다른 양상을 보인다. 즉, 3G 네트워크 인터페이스는 무선랜 인터페이스에 비해 송신 상태에서 많은 에너지를 소비하지만 수신 상태나 휴지 상태에서는 훨씬 적은 양을 사용한다. 따라서 WISE는 네트워크 부하와 에너지 소모 패턴을 고려하여 선택된 인터페이스로 인하여 처리율이 저하되지 않을 경우 가장 적은 에너지를 소비하는 네트워크 인터페이스를 활성화시킨다. 선택된 인터페이스가 처리율에 미치는 영향에 대한 판단은 이동 단말과 네트워크 간의 협력을 통하여 가능하다. 예를 들어, 이동 단말이 현재 데이터 통신 패턴을 고려하여 가장 적은 에너지를 소비하는 인터페이스를 선택한 경우, 만약 선택한 네트워크 인터페이스가 현재 사용 중인 인터페이스와 다르다면 이동 단말은 H-RM에게 계층적 핸드오프 요청 메시지를 보낸다. H-RM은 3G 네트워크와 무선랜의 현재 부하 정도를 고려하여 핸드오프 요청을 수락하거나 거절할 수 있다. 비록 이동 단말의 입장에서 계층적 핸드오프를 하는 것이 단말의 에너지 소비량을 줄일 수 있는 방법일지라도 H-RM은 이 요청에 의하여 발생할 수 있는 오버헤드가 전체 네트워크의 처리율이 저하시킬 것이 예상된다면, 핸드오프를 거절할 수 있다. 즉, 과부하 네트워크로의 핸드오프 요청을 거절함으로써 H-RM은 전체 네트워크 상태를 양호하게 유지한다. 이 때 이동 단말은 항상 H-RM의 결정을 수용해야 한다. 만약 전체 네트워크 상태가 저하된다면 이동한 네트워크에서 서비스 품질 또한 떨어져 궁극적으로 이동 단말에도 부정적인 영향을 미치기 때문이다. 반면 핸드오프 요청이 수락된 경우, H-RM은 이동 단말의 계층적 핸드오프를 호출한다.

만약 이동 단말이 적은 양의 데이터를 수신하고 있거나 오랜 기간 동안 휴지 상태를 유지한다면 3G 네트워크 인터페이스를 사용하는 것이 효율적일 것이다. 그러나 송수신할 데이터가 많은 경우에는 무선랜 네트워크 인터페이스를 사용하여 낮은 대역폭으로 인하여 발생하게 되는 처리율 제약을 받지 않는 것이 타당하다. 데이터 양에 따른 에너지 효율적인 인터페이스

스를 선택하기 위해서는 이동 단말로부터 계층적 핸드오프에 대한 요청을 받고 H-RM이 모니터링 한 정보를 바탕으로 어떤 네트워크 인터페이스가 에너지 효율적인가를 판단하고 언제 변경할 것인지도 결정해야 한다. 이동 단말의 계층적 핸드오프 요청 시 수락 여부는 다음과 같은 두 가지 방법으로 결정이 가능하다.

- BS와 AP에서 자신이 관리하는 이동 단말과 네트워크에 대한 정보를 H-RM에서 제공하고, H-RM이 핸드오프 결정을 내린다. 이 때 BS와 AP는 각자 자신의 네트워크에 대한 많은 정보를 가지고 있기 때문에 보다 효율적인 핸드오프 결정을 내릴 수 있다. 즉, 현재 사용 가능한 대역폭(bandwidth) 등의 정보가 H-RM에게 제공될 수 있다면, 사용 가능한 대역폭이 일정 임계 값을 넘으면 H-RM은 계층적 핸드오프를 지시한다.
- BS나 AP에서 정보를 제공받지 않고 H-RM이 직접 자신이나 MSC를 통하는 트래픽에 대한 정보를 모니터링 하여 계층적 핸드오프 결정을 내린다. 이 방법은 각 네트워크의 정확한 현재 상태를 알 수는 없지만 BS, AP와 H-RM 사이의 추가적인 메시지 교환 오버헤드가 없다는 장점이 있다.

모의 실험 구현의 단순성을 위하여 본 논문에서는 두 번째 방식을 채택하였으며 이 경우 MSC를 통해 나가는 트래픽(Down-Stream Traffic)과 이동 단말의 큐를 각각 모니터링 한다. 나가는 트래픽의 경우, MSC와 BS에 연결된 인터페이스, MSC와 AP에 연결된 인터페이스의 현재 평균 큐 길이와 사용 대역폭 정보를 바탕으로 EWMA 방식으로 계산한다.

$$\text{평균 큐 길이} = (1-w) \cdot \text{현재 큐 길이} + w \cdot \text{평균 큐 길이}$$

그리고 이러한 평균 큐 길이에 대한 정보와 트래픽 모니터링 정보를 이용하여 각 인터페이스의 비용을 아래 비용 함수를 이용하여 계산한다.

$$\begin{aligned} \text{비용 함수} &= (1-w) \cdot \text{사용 대역폭 크기} + w \cdot \text{평균 큐 길이} \\ &+ \text{핸드오프 시 발생하는 추가적인 오버헤드} \end{aligned}$$

이렇게 계산된 각 인터페이스의 비용이 일정 임계 값을 넘는 경우 H-RM은 계층적 핸드오프를 호출한다. 이 때 네트워크 인터페이스를 변경하기 때문에 부가적으로 소비되는 에너지에 대한 비용도 고려하여 비용을 계산한다.

WISE 알고리즘의 가장 중요한 특징 중 하나는 업링크와 다운링크가 독립적으로 동작한다는 것이다. 이 때 업링크와 다운링크는 전송 계층(Transport Layer)에서 구분되며 H-RM은 각 링크의 부하를 측정하여 가능한 경우 특정 이동 단말에서 해당 링크 상에서의 계층적 핸드오프를 호출하게 된다. 즉, 전송 계층의 관점에서 이동 단말이 업링크와 다운링크로 다른 네트워크 인터페이스를 사용하게 된다. 예를 들어, 이동 단말이 TCP를 사용하는 FTP 연결을

통하여 큰 멀티미디어 파일을 수신하는 경우, 단말은 다운링크로 대용량의 수신 데이터에 알맞은 무선랜 인터페이스를 사용하며, 업링크로 적은 양의 ACK 전송을 위하여 3G 네트워크 인터페이스를 사용하게 된다. 이 때 MAC 계층 아래에서는 정상적인 802.11 DCF를 사용하여 데이터 패킷을 전송하게 되고, ACK 역시 3G 네트워크 프로토콜을 사용하여 전송이 된다.

만약 계층적 핸드오프가 오직 이동 단말의 요청에 의해서만 수행될 수 있다면 몇 가지 문제점이 발생하게 된다. 예를 들어, 매우 많은 이동 단말들이 적은 양의 데이터를 수신하고 있는 경우 이동 단말은 모두 3G 네트워크를 선호하게 된다. 이 경우, 동일한 패턴의 이동 단말에 의해 3G 네트워크의 모든 대역폭이 소비된 반면, 동일 지역을 서비스하는 무선랜 망의 자원은 여전히 충분하다. 또한 적은 데이터 양을 수신하는 추가 이동 단말이 3G 네트워크를 선택한다면 그 수용 능력을 넘어서게 된다. 반대의 경우에도 결과는 유사하다. 따라서 양 네트워크 간의 균형적인 부하 관리를 위해, H-RM 자체적으로도 특정 단말에 대하여 계층적 핸드오프를 지시하는 기능도 필요하다.

4.2.2.

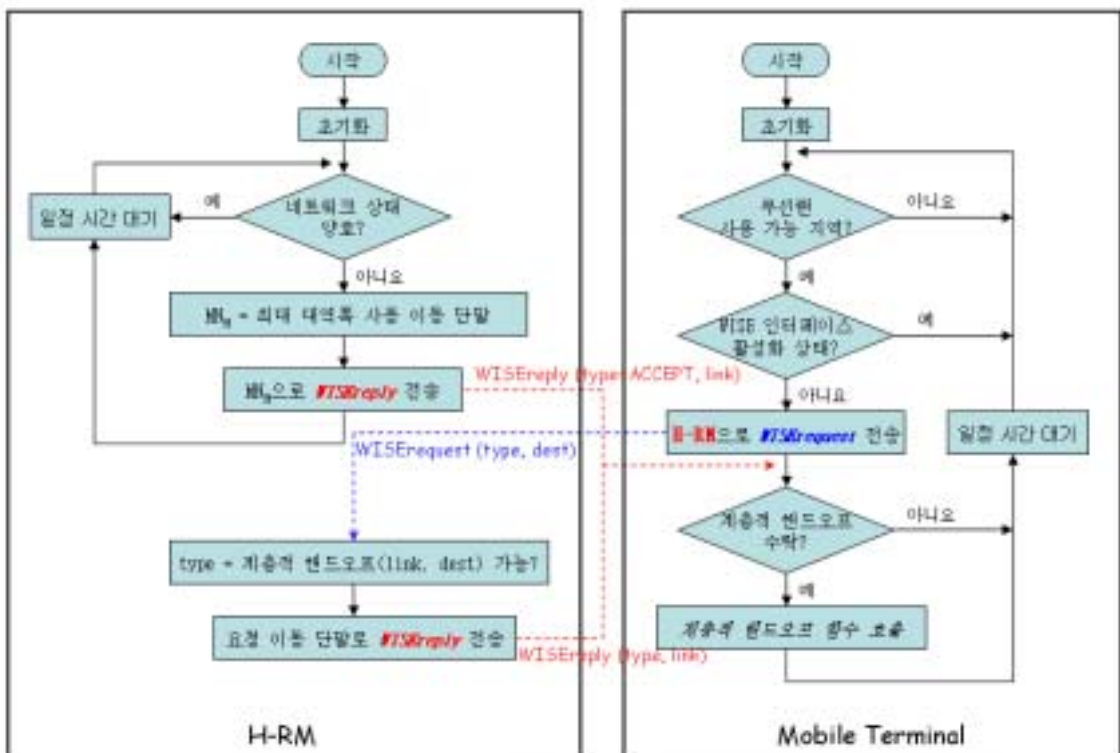


그림 2. WISE 알고리즘의 흐름도

WISE 알고리즘으로 동작하는 이동 단말은 초기화 단계에서 3G 네트워크를 이용한다. 이동 단말은 주기적으로 무선랜을 이용할 수 있는지 테스트하고, 3G 네트워크와 무선랜의 동시 사용이 가능하게 되었을 때 단말의 평균 큐 길이를 사용하여 미리 정의된 임계 값을 초과하

는 경우, 단말은 계층적 핸드오프를 하기 위해 H-RM으로 WISerequest (type, dest) 메시지를 보낸다. 여기서 'type' 은 업링크 혹은 다운링크를 나타내며 'dest' 는 계층적 핸드오프의 목적지 네트워크로 3G 네트워크나 무선랜이 가능하다.

H-RM은 계층적 핸드오프 요청을 받게 되면, 먼저 목적지 네트워크 요청 링크의 부하를 모니터링 정보로부터 알아낸다. 이 때 H-RM에서는 관련된 네트워크의 BS나 AP의 큐의 길이와 사용 대역폭의 크기를 측정하여 핸드오프 시 네트워크 부하를 예상할 수 있다. 이러한 정보를 바탕으로 핸드오프의 수락 여부를 결정하고 이동 단말에게 WISereply (type, link) 메시지를 전송한다. 여기서 'type' 은 계층적 핸드오프의 수용 여부를 나타내고, 'link' 는 계층적 핸드오프의 목적지 네트워크의 해당 링크를 의미한다. 만약 요청이 수락되었다면, 'type' 은 'ACCEPT' 메시지를 보내고, 반대의 경우 'REJECT' 메시지를 보낸다. 이동 단말은 H-RM으로부터 WISereply 메시지를 받고 요청이 수락되었다면 목적지 네트워크의 'link' 상에서 계층적 핸드오프를 수행한다. 그렇지 않은 경우, 이동 단말은 일정 시간이 지난 후 무선랜 서비스가 가능한지를 테스트 하는 것부터 위와 같은 단계를 반복하게 된다.

또한 H-RM은 관할 지역의 BS와 AP의 상태를 주기적으로 검사하여 각 네트워크 상태가 양호한지를 검사한다. 네트워크 상태가 좋지 않다면 H-RM은 과부하 네트워크 트래픽을 생성하는 이동 단말을 선택하여 해당 링크 상에서 계층적 핸드오프를 명령한다. 이와 같은 단계는 과부하 상태가 양호하게 바뀔 때까지 일정한 시간 간격으로 반복적으로 수행된다.

WISE	WISerequest, WISereply	3G
H-RM		.

4.2.3.

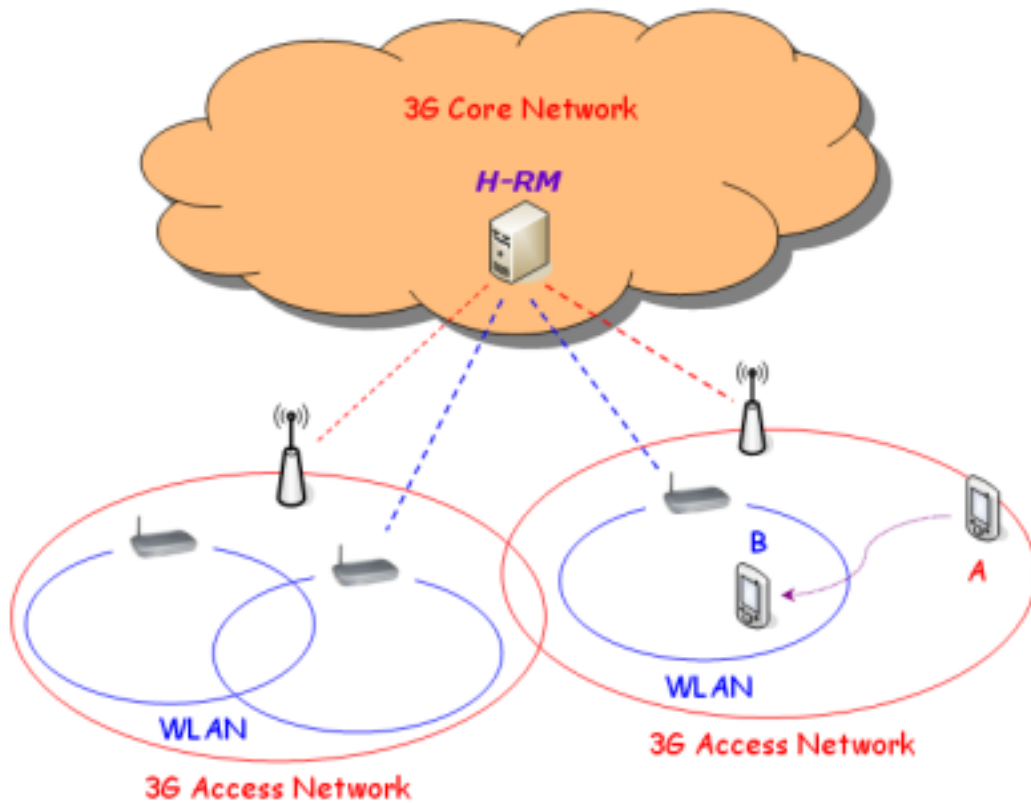


그림 3. 3G 네트워크와 무선랜 결합 구조에서 이동 단말의 계층적 핸드오프

그림 3은 예제 시나리오 상에서 WISE 알고리즘의 동작 과정을 보여준다. 이동 단말이 A 지역에서 3G 네트워크를 사용하여 대용량 멀티미디어 파일을 다운로드하기 시작하고, 다운로드를 수행하면서 B 지역으로 이동한다고 가정하자. B 지역은 3G 네트워크와 무선랜을 모두 사용할 수 있는 곳으로 이동 단말의 3G 네트워크를 통한 데이터 송수신 양이 많다는 것을 H-RM에서 감지하고 WISE 알고리즘을 적용시켜 현재의 트래픽 패턴으로는 무선랜을 사용하는 것이 더 효율적이라고 결정을 내린다. 따라서 H-RM은 무선랜 상태가 양호한지를 AP 큐 길이를 측정하여 판단을 내리고 무선랜에 충분한 사용 가능 대역폭이 남아 있다면 H-RM은 WISereply(ACCEPT, 다운링크) 메시지를 이동 단말에게 보낸다. 이 메시지를 받은 이동 단말은 다운링크에 대한 계층적 핸드오프 함수를 호출한다. 이 때 계층적 핸드오프가 전송 계층의 관점에서 단방향으로 이루어지는 것에 주목해야 한다. 즉, 계층적 핸드오프 결정과 수행은 3G 네트워크를 사용하던 다운링크에만 국한된다. 이동 단말은 업링크로 보내는 패킷은 3G 네트워크를 사용하여 전송한다. 이것은 3G 네트워크를 사용하는 업링크의 경우, 데이터 양이 많지 않아 트래픽 부하가 크지 않기 때문이다. 이동 단말은 다운링크는 무선랜, 업링크는 3G 네트워크의 비대칭적인 링크를 사용하게 된다.

만약 이동 단말에서 데이터 전송이 종료하여 입력 큐의 길이가 임계 값 이하로 떨어지게 되면 H-RM은 이를 감지하여 해당 이동 단말의 다운링크를 무선랜에서 3G 네트워크로 계층적

핸드오프를 시도한다. 3G 네트워크에 트래픽 과부하를 일으키지 않을 것이라는 판단이 서면 이동 단말에게 WISEreply(ACCEPT, 다운로드) 메시지를 보낸다. 계층적 핸드오프 메시지를 받은 이동 단말은 다운로드에 대하여 계층적 핸드오프를 수행하여 다시 3G 네트워크를 통하여 데이터를 수신하게 된다. 그림 4는 예제 시나리오에서 이동 단말의 업링크와 다운로드를 어떤 네트워크가 사용되는지를 보여준다.

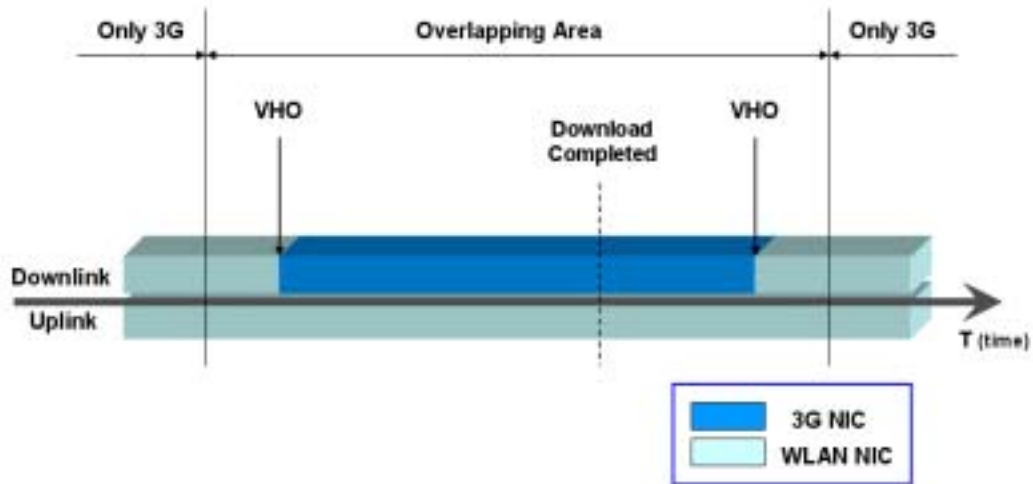


그림 4. 업링크와 다운로드의 사용 패턴

4.3.

배터리로 동작하는 이동 단말에서 에너지 소비를 줄여 동작 시간을 연장하는 것은 매우 중요한 이슈다. WISE는 각 인터페이스의 에너지 소비 비율, 트래픽 패턴, 네트워크 부하 등을 종합적으로 고려하여 가장 에너지 효율적인 네트워크 인터페이스를 사용함으로써 문제의 이슈에 대한 해결책을 제시한다. 기본적인 개념은 단방향으로 네트워크 인터페이스를 선택하여 대용량 데이터를 송수신 할 경우 무선랜을 사용하고, 데이터 양이 적을 경우 3G 네트워크를 사용하여 전체 네트워크 처리율이 저하되지 않는 범위 내에서 에너지 소비를 줄이는 결과를 이끌어 낸다.

양방향 TCP 통신의 경우, 양방향 모두 동일하게 무선랜 인터페이스 만을 사용한 결과를 WISE 경우와 결과를 비교해 보면, WISE는 부가적인 처리율 이득을 보인다. 다수의 이동 단말이 업링크와 다운로드 양방향 모두 무선랜을 이용한다고 가정하자. 모든 이동 단말이 TCP를 이용하여 멀티미디어 파일을 다운로드 받고 있다면, 전송 계층의 관점에서 볼 때 AP는 다운로드로 데이터 패킷을 보내려고 시도하고, 각 이동 단말은 업링크로 수신 데이터의 ACK을 보내려고 시도한다. 무선랜의 경우 다운로드와 업링크 전송 매체가 동일하게 공유되기 때문에 AP와 각 이동 단말들은 서로 경쟁을 하게 되고 결과적으로 데이터 전송 지연과 손실과 같은 추가적인 오버헤드가 발생하게 된다. 반면, 예제 시나리오에서 WISE는 각각의 이동 단말이 두 개의 네트워크 인터페이스를 동시에 사용한다. 즉, 대용량 데이터 패킷을 수신하

는 다운링크는 무선랜을 이용하고, 수신 데이터 패킷에 대한 ACK을 전송하는 업링크는 3G 네트워크를 이용하도록 한다. 즉, AP는 탐색 순서(polling order)에 따라 다운링크의 데이터 패킷을 전송하고, 이동 단말은 3G 네트워크를 통하여 할당된 시간 슬롯에 업링크 ACK을 전송할 수 있다. 이런 동작 과정은 AP나 이동 단말들 사이의 경쟁을 완화시키는 역할을 한다. 따라서 WISE 알고리즘은 이동 단말의 개수가 늘어남에 따라 발생하는 경쟁으로 인한 오버헤드를 줄여 추가적인 처리율 이득을 가져올 수 있다. 다음 장에서는 이에 대한 정량적인 분석 결과를 제시한다.

5. 가

5.1.

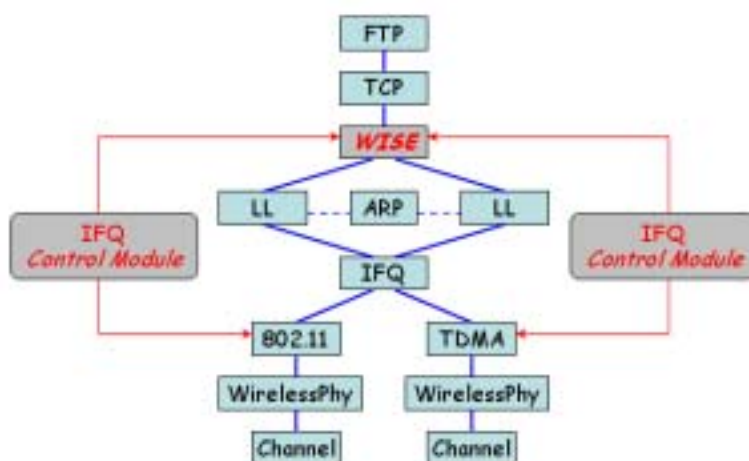


그림 5. 이동 단말의 내부 구조

본 논문에서 제안한 알고리즘인 WISE를 NS2에 구현을 하고 성능 평가를 수행하였다. 그림 5는 본 모의 실험에 사용된 이동 단말의 내부 구조이다. WISE 에이전트는 BS나 AP와 정보 교환을 통하여 계층적 핸드오프를 수행한다. 이 때 IFQ 제어 모듈은 WISE 에이전트에게 큐 길이에 대한 피드백 정보를 주고, 이 정보를 바탕으로 평균 큐 길이를 EWMA 방식으로 계산하게 된다.

모의 실험의 성능 평가는 두 가지의 시나리오 상에서 이동 단말이 (i) 3G 네트워크 만을 사용하는 경우, (ii) 무선랜 만을 사용하는 경우, (iii) WISE 알고리즘을 사용하여 네트워크를 동적으로 선택하는 경우 각각에 대하여 평균 에너지 소비량과 평균 처리율의 두 가지 성능 평가 기준으로 수행되었다. 각 네트워크 인터페이스의 에너지 소비 비율은 표 1과 표 2에 제시된 모델을 사용하였으며, 각 네트워크 대역폭은 3G 네트워크의 경우 다운링크는 2.4 (Mbps), 업링크는 153.6 (Kbps)를, 무선랜의 경우 11 (Mbps)로 설정하였다.

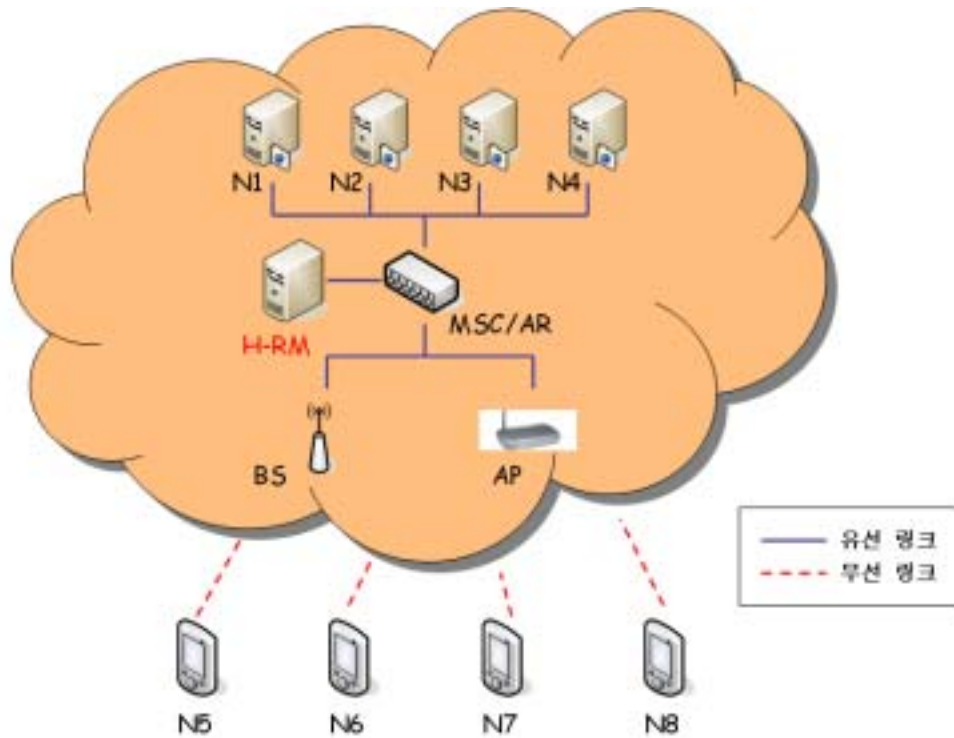


그림 6. 정적 이동 단말 시나리오의 네트워크 구성도

첫 번째 모의 실험 시나리오인 정적 이동 단말의 경우에 사용된 네트워크 구조는 그림 6과 같다. 총 8개의 노드가 존재하며 4개의 노드는 유선 노드, 나머지 4개의 노드는 이동 단말이다. FTP 응용 프로그램을 이용한 4개의 업로드 혹은 다운로드 트래픽을 발생시킨다. TCP의 경우 데이터 패킷의 크기는 1024 바이트의 크기이며 윈도우 크기는 1024 바이트이다. 전체 실험 시간은 300 (s)이며 FTP 세션은 5번의 활성화 구간에서 20 (s) 동안 주기적으로 데이터 전송을 발생시킨다.

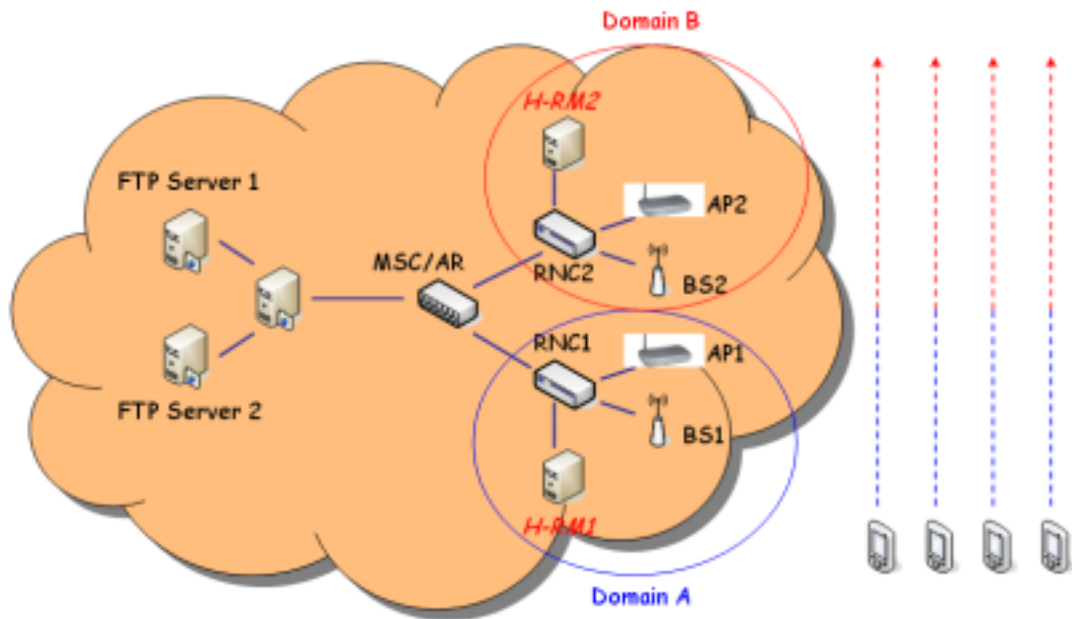
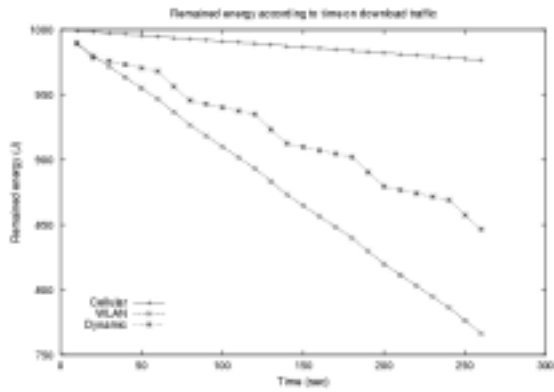


그림 7. 동적 이동 단말 시나리오의 네트워크 구성도

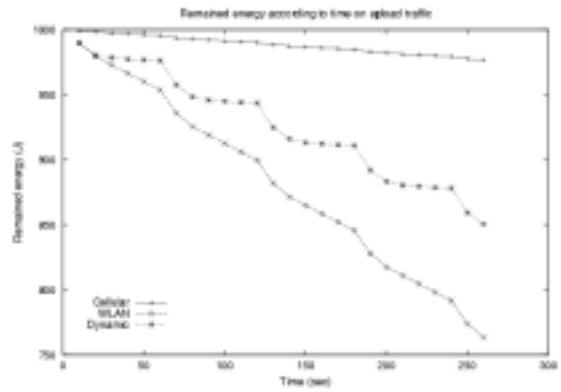
두 번째 모의 실험 시나리오인 동적 이동 단말의 경우에 사용된 네트워크 구조는 그림 7과 같다. 4개의 이동 단말이 A 지역에서 FTP 세션을 시작하여 B 지역으로 이동한다. 이 때 트래픽 로드의 변화를 주기 위하여 가능한 모든 대역폭을 사용하려는 경향이 있는 TCP의 최대 혼잡 윈도우(congestion window) 크기는 8로 제한하고, A 지역에서는 유선 노드로부터 이동 단말로 4개의 FTP 세션이 발생시키고, B 지역으로 이동하면서 추가적으로 4개의 FTP 세션을 더 발생시킨다. 이 때 A 지역과 B 지역에서의 실험 결과를 비교, 분석하여 트래픽 로드와 이동 단말의 이동성 환경에서 WISE 알고리즘이 어떤 성능을 보이는지를 분석한다. 이동 단말은 100ms 주기로 브로드캐스트 되는 무선랜의 BEACON 메시지를 통하여 동시 사용 가능 지역을 판단한다. 다른 모의 실험 환경 조건은 정적 이동 단말의 경우와 동일하다.

5.2.

5.2.1.

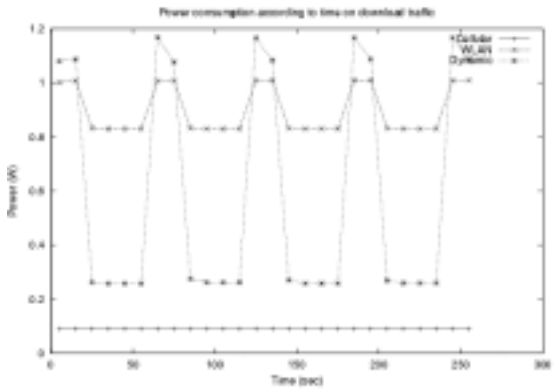


(a) 다운로드 트래픽

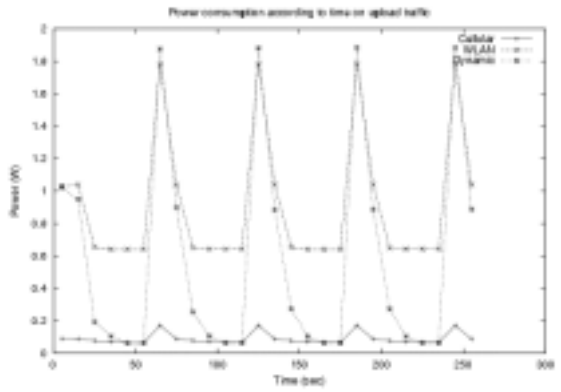


(b) 업로드 트래픽

그림 8. 평균 잔여 에너지

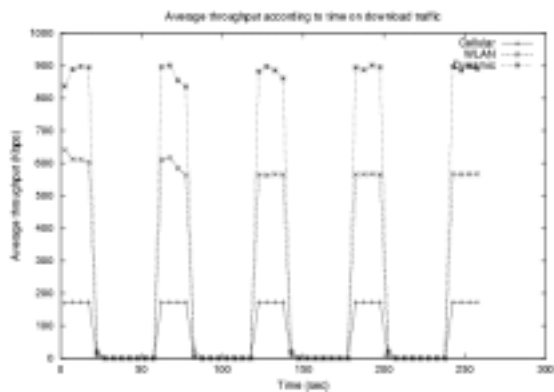


(a) 다운로드 트래픽

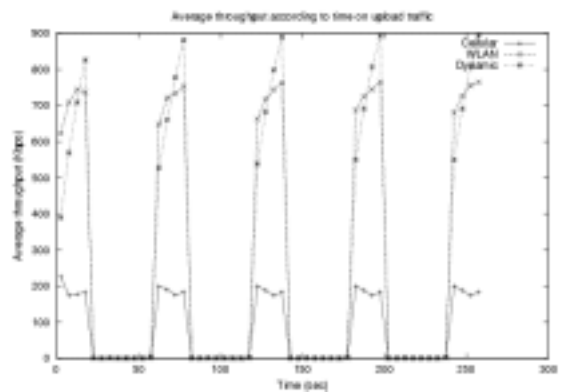


(b) 업로드 트래픽

그림 9. 평균 파워 소모율



(a) 다운로드 트래픽



(b) 업로드 트래픽

그림 10. 평균 처리율

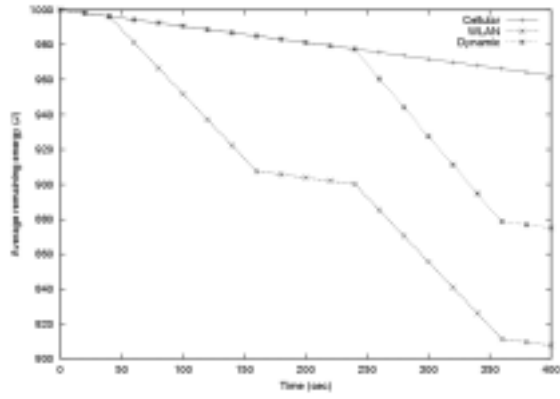
그림 8, 9, 10은 업로드와 다운로드 트래픽에 대한 이동 단말의 평균 잔여 에너지, 파워

소모율, 처리율의 변화를 보여준다. 이동 단말은 1000 (J)의 초기 에너지를 가지고 전체 모의 실험 수행 시간 중 대략 33 (%) 시간 동안 데이터를 송신하거나 수신하게 된다. 모의 실험의 결과에서 3G 네트워크 인터페이스 만을 사용하는 경우를 Cellular, 무선랜 인터페이스 만을 사용하는 경우를 WLAN, 그리고 WISE 알고리즘을 적용한 경우를 Dynamic으로 표기한다. 업로드와 다운로드 트래픽에 대하여 평균 잔여 에너지량, 에너지 소모율, 처리율은 서로 유사한 경향성을 보인다. 그림 8은 다운로드와 업로드 트래픽에 대한 이동 단말의 평균 잔여 에너지 그래프로 Cellular가 가장 적은 에너지를 소모하고 WLAN이 가장 많은 에너지를 소모한다는 것을 보여준다. 이는 모의 실험 시나리오 상에서 이동 단말이 대략 67 (%)의 시간을 휴지 상태에 머무르고, 휴지 상태에서 Cellular가 WLAN에 비해 더 에너지 효율적이기 때문이다. 또한 Cellular의 경우 낮은 대역폭으로 인하여 전송하는 데이터 양이 적어지는 반면, WLAN은 최대한 많은 대역폭을 사용하는 TCP의 특성 상 충분한 대역폭을 이용하여 송수신 데이터 양이 많아 이에 따라 많은 에너지가 소모된다. Dynamic의 경우에는 송수신 구간에서는 평균 잔여 에너지 감소 기울기가 WLAN과 유사하고, 휴지 상태 구간에서는 Cellular와 유사한 경향을 보인다. 이는 그림 8.a의 경우, 송수신 구간에서 대용량의 데이터를 수신할 때는 다운링크로 무선랜을 사용하고, 수신 데이터의 ACK은 3G 네트워크를 이용하기 때문이다. 휴지 상태 구간에서 WISE는 무선랜 인터페이스는 끄고, 3G 네트워크 인터페이스 만을 사용하기 때문에 Cellular와 유사한 감소 경향을 보이게 된다.

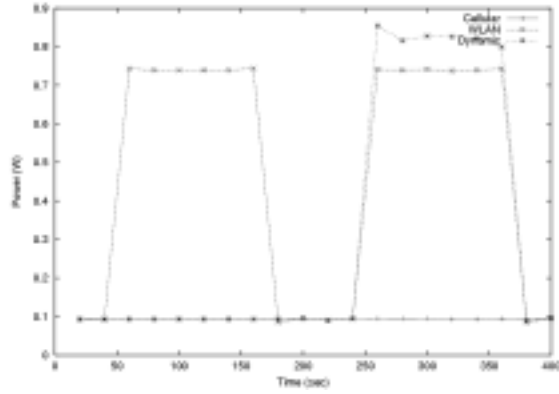
그림 9는 업로드와 다운로드 트래픽에 대하여 기준 시간당 에너지 감소율(파워) 그래프이다. WISE는 이동 단말이 송수신 하는 데이터 양과 네트워크 부하 등을 고려하여 단방향 계층적 핸드오프를 지원하기 때문에 비대칭적 링크를 사용하는 경우가 발생한다. 그림 9.a를 보면 활성화 구간에서 동시에 두 가지 인터페이스를 모두 사용하는 Dynamic이 WLAN에 비해 더 많은 에너지를 소모하는 것을 확인할 수 있다. 그러나 처리율 측면에서 볼 때 전송 패킷당 전체 에너지 소비는 크게 차이가 없으며 Cellular는 가장 적은 에너지를 소모하지만 처리율 역시 가장 낮다.

그림 10은 업로드와 다운로드 트래픽에 대하여 이동 단말의 평균 처리율을 보여준다. Cellular는 대역폭의 제약으로 인하여 가장 적은 처리율을 보인다. 그림 10.a에서 Dynamic은 다운로드 트래픽의 다운링크에 대하여 무선랜을 사용하여 Cellular보다 높은 처리율을 얻었다. 또한 Dynamic이 WLAN보다도 처리율 측면에서 더 좋은 성능을 보이고 있는데, 이는 앞에서 언급했던 바와 같이 AP나 각각의 이동 단말 간의 패킷을 전송하려는 경쟁에 따른 오버헤드를 줄여서 얻을 수 있는 부차적인 결과이다. 그림 10.a와 10.b에서 WLAN과 Dynamic 사이에 처리율 차이가 서로 다름을 볼 수 있다. 활성화 구간 동안 다운로드 트래픽에 대한 WLAN과 Dynamic 간의 차이가 업로드 트래픽의 차이보다 크다. 이는 이동 단말이 업로드 트래픽의 업링크에 대하여 무선랜 인터페이스를 사용하여 대용량 데이터에 적합한 높은 대역폭을 제공하지만, 각 단말이 전송 매체를 공유하기 때문에 서로 간의 경쟁이 발생하고 결과적으로 약간의 처리율 감소로 이어지기 때문이다.

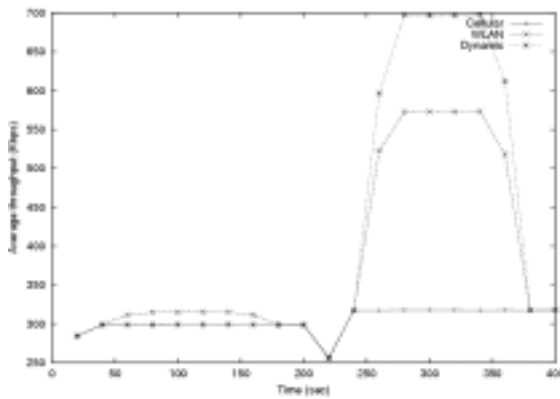
5.2.1.



(a) 평균 잔여 에너지



(b) 평균 파워 소모율



(c) 평균 처리율

그림 11. 동적 이동 단말 시나리오 실험 결과

그림 11은 이동 단말이 두 개의 도메인 사이를 이동할 경우의 성능 측정 결과를 보여준다. A 지역에서는 4개의 FTP 세션이 존재하지만 B 지역으로 이동하였을 경우에는 추가적으로 4개의 FTP 세션이 발생하고 각 단말에 대한 네트워크 부하가 증가하게 된다. 이 경우, 정적인 경우와 마찬가지로 이동 단말은 자신의 큐의 상태로 H-RM에 특정 링크의 계층적 핸드오프 요청을 하게 되고, H-RM은 수락 여부를 판단하게 된다. 동적 이동 단말 시나리오 상에서 이동 단말이 A 지역에서 3G 네트워크를 통하여 통신을 하다가 조금씩 이동을 하면서 무선랜이 사용 가능한 지역(AP1)으로 도달한다. 계속 이동함에 따라 무선랜 사용 가능 지역을 벗어나게 되고, 서로 다른 도메인의 3G 네트워크 상에서 수평적 핸드오프가 일어나게 된다. 잠시 후 또 다른 무선랜 사용 가능 지역(AP2)으로 도달했다가 벗어나게 된다.

그림 11.a는 이동 단말의 평균 잔여 에너지 그래프로 WLAN의 경우 무선랜이 사용 가능한

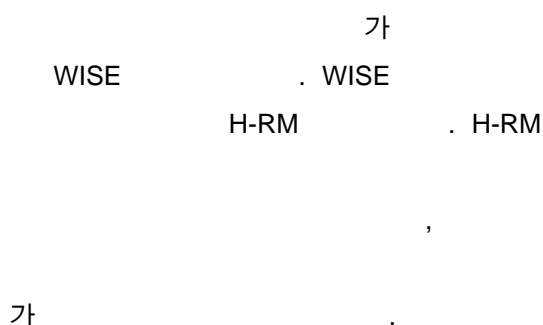
지역에서는 무조건 무선랜 인터페이스를 사용하기 때문에 두 곳의 무선랜 사용 지역에서 모두 무선랜 서비스를 사용하고, 이에 따라 평균 잔여 에너지도 급격히 감소하고 있다. 그러나 Cellular는 3G 네트워크 인터페이스만을 계속 사용하기 때문에 평균 잔여 에너지의 감소 경향이 크게 변하지 않는다. Dynamic의 경우, 첫 번째 무선랜 사용 가능 지역에서는 다운로드 트래픽의 부하가 크지 않기 때문에 계속 3G 네트워크를 사용하여 서비스 받다가 두 번째 무선랜 사용 가능 지역에 들어서면서 추가적인 FTP 세션으로 인하여 다운로드 트래픽의 부하가 커지게 된다. 이 때는 다운로드 무선랜 인터페이스를 사용하여 충분한 대역폭을 획득하고 있다. 따라서 그래프의 기울기 역시 두 번째 무선랜 사용 가능 지역에서만 급격한 감소 경향을 보이고 있다.

그림 11.b는 이동 단말의 평균 파워 소모를 보여주는 그래프로 무선랜 인터페이스를 사용하는 구간에서는 시간 당 에너지 소모가 크다는 것을 알 수 있다. 주의할 점은 Dynamic의 경우 두 번째 무선랜 사용 가능 지역에서 두 개의 인터페이스를 모두 활성화하여 비대칭적인 링크를 사용하는 비용으로 무선랜 만을 사용하는 경우에 비하여 추가적인 에너지가 소모된다.

그림 11.c는 이동 단말의 평균 처리율을 보여준다. 첫 번째 무선랜 사용 가능 지역에서 무선랜 만을 사용하는 경우는 인터페이스를 무선랜으로 변경하여 약간의 추가적인 처리율의 이득을 얻고 있고 나머지 두 경우는 3G 네트워크 인터페이스 만을 사용하여 충분한 처리율을 유지하고 있다. Dynamic은 현재 트래픽의 부하가 크지 않기 때문에 3G 네트워크 인터페이스를 계속 사용하도록 판단한다. 이동 단말이 B 지역으로 이동하면서 트래픽의 부하가 증가된다. 이 경우, Dynamic은 다운로드 트래픽의 다운로드를 무선랜 인터페이스로 변경하여 낮은 대역폭으로 인한 처리율의 감소를 해결하고 있다. 또한 정적 이동 단말 시나리오에서와 마찬가지로 비대칭적인 링크의 사용으로 AP나 이동 단말 사이의 경쟁을 완화시켜 추가적인 처리율 이득을 얻고 있다는 것을 확인할 수 있다.

위와 같은 모의 실험 결과로부터 본 논문에서 제안하는 WISE 알고리즘은 트래픽 부하가 크지 않은 상황에서는 에너지 감소의 효과를 얻을 수 있고, 트래픽 부하가 큰 상황에서는 처리율 상승의 효과를 얻을 수 있다.

6.



- [1] KT NESpot, <http://www.nespot.com>
- [2] Ahmavaara, K., Haverinen, H. and Pichna, R., "*Internetworking Architecture Between 3GPP and WLAN systems*," IEEE Communication Magazine, Vol. 41, Nov. 2003
- [3] Patel, G. and Dennett, S., "*The 3GPP and 3GPP2 Movements Toward an All-IP Mobile Networks*," IEEE Personal Communications, Vol. 7, Aug. 2000
- [4] 송정화 외, "SCTP의 멀티호밍 특성에 대한 성능 평가," 정보처리학회논문지 (C), 제 11-C권 제2호, pp. 245 ~ 252, 2004년 4월.
- [5] 고석주 외, "SCTP 표준 기술 분석 및 전망," ETRI 전자통신동향분석, 제 18권 3호 (통권 81호), pp. 11 - 21, 2003년 6월.
- [6] Li Ma, Fei Yu, Victor Leung and Tejinder Randhawa, "*A New Method to Support UMTS/WLAN Vertical Handover using SCTP*," VTC 2003 Fall
- [7] Seok J. Koh, et al., "mSCTP for Soft Handover in Transport Layer", IEEE Communications Letters, Vol. 8, No. 3, pp. 189 – 191, March 2004.
- [8] Buddhikot, M.M., Chandranmenon, G., Seungjae Han, Yui-Wah Lee, Miller, S. and Salgarelli, L., "*Design and Implementation of a WLAN/CDMA2000 Internetworking Architecture*," IEEE Communication Magazine, Vol.41, Nov. 2003
- [9] Buddhikot, M., Chandranmenon, G., Han, S., Lee, Y.W., Miller, S. and Salgarelli, L., "*Integration of 802.11 and Third-Generation Wireless Data Networks*," INFOCOM 2003
- [10] Qian Zhang, Chuanxiong Guo, Zihua Guo and Wenwu Zhu, "*Efficient Mobility Management for Vertical Handoff between WWAN and WLAN*," IEEE communication magazine, Vol.41, Nov. 2003
- [11] Jaseemuddin, M., "*An Architecture for Integrating UMTS and 802.11 WLAN Networks*," ISCC 2003
- [12] Laura Feeney and Martin Nilsson, "*Investigating the Energy Consumption of a Wireless Network Interface in an Ad Hoc Networking Environment*," INFOCOM 2001.
- [13] GTRAN KOREA, Inc., <http://www.gtran.co.kr>
- [14] NTT DoCoMo, <http://www.nttdocomo.com>
- [15] Gustafsson, E. and Jonsson, A., "*Always best connected*," Wireless Communications,

Vol.10, pp. 49-55, Feb. 2003.

[16] C. Castelluccia, "A *Hierarchical Mobile IPv6 Proposal*," INRIA, 1998.